

衝撃弾性波探査（透過法）による砂防堰堤内部劣化診断に関する室内試験 ～内部に空洞がある場合の弾性波速度への影響～

一般財団法人 砂防フロンティア整備推進機構 大矢 幸司
株式会社 ダイヤコンサルタンツ ○筒井 正明・吉田 真理夫・吉田 力

はじめに

多数の既往砂防堰堤を適切に維持・管理していくためには、外観目視点検は非常に重要な手法である。しかしながら、堤体内部の詳細な状態を外観だけで判断するには限界がある。特に、石積砂防堰堤のような内部材料と外部材料が異なる施設については、外観から内部状況が判断できないものが多い。このような砂防堰堤の内部状況を把握するためには、堤体ボーリングの実施が有効な手法のひとつであるが、局所的な調査を回避するために多数のボーリングを実施する必要があり、比較的成本も時間もかかるという問題がある。

一方で、非破壊調査の一種である衝撃弾性波探査（透過法）は、堤体内部の劣化状況を弾性波の伝搬速度で評価する手法であり、実施時に堤体の損傷・劣化状況等に応じた探査箇所（測線）の追加も比較的容易で、機動性に富む手法である。また、鋼製ハンマーで打撃し、従来より高周波数域・強エネルギーをもつ弾性波を発生させるため、減衰・散乱の影響を受けにくいという特徴を有している。

しかしながら、得られた弾性波速度から堤体全体もしくは箇所毎の健全性評価は可能であるものの、内部の亀裂、空洞（空隙）、打継目の劣化等といった異常が、それぞれどのように弾性波速度に影響しているかについては、これまで十分に議論されてこなかった。

このため、堤体内部の様々な劣化状況等の程度と弾性波速度との関係を明らかにするため、堤体内部を模擬した各種室内試験を進めている。本報告では、このうち内部に空洞がある場合を想定した室内試験から、空洞の弾性波速度への影響について報告する。

1. 供試体

均一な素材で空洞がある場合とない場合を模擬した供試体を作成した（図-1）。供試体は、①最短経路モデル及び②迂回経路モデルの2つで、入手が容易な市販の素焼きレンガブロック（サイズ：約7.2 cm×14 cm×3.2 cm，見かけ密度：約1.80 g/cm³）を使用した。

最短経路モデルは、レンガブロックを4つ重ねたもので、その上下端に発信側及び受信側のAEセンサを設置した（図-1左）。AEセンサは、微小な破砕音を収録するために開発された無指向性のセンサで、設置面の振動を検出し、音として収録する計測器である。迂回経路モデルは、図-1右に示すような形状とし、AEセンサ間を疑似空洞とした。なお、モデルのレンガブロックは、市販のコンクリートペーストを使用し接着している。

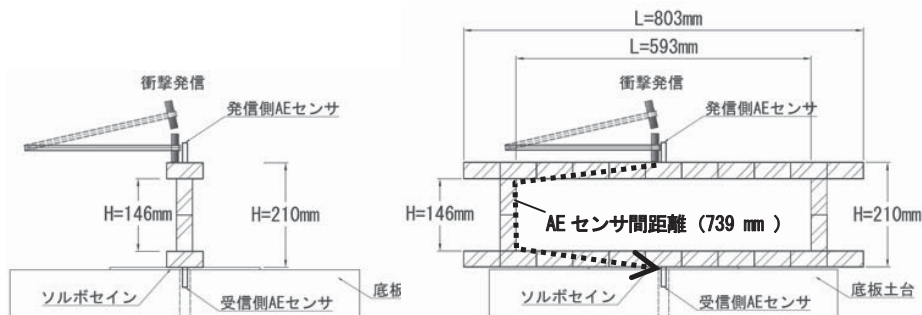


図-1 作成した供試体（左：最短経路モデル，右：迂回経路モデル）

2. 計測方法及び結果

計測は、発信用 AE センサの横を鋼製ハンマーで打撃することで衝撃弾性波を発生させ、これを発信側及び受信側の AE センサで受信し、到達時間の差を弾性波の伝搬速度とした。また、複数回の打撃によって弾性波の波形の再現性を確認したうえで、15 回の計測を実施し、最大値及び最小値を除いた 13 回の伝搬速度を相加平均した (表-1)。なお、供試体と底板土台の間には、衝撃吸収材 (ソルボセイン) を挟み底板の影響を排除した。また、弾性波は、空气中 (空洞内) も伝搬する性質を有しているが、その速度は一般に乾燥空气中で 0.4 km/s 程度以下であるため、計測値に影響していないと判断される。

表-1 に示すように、弾性波速度は最短経路モデルで 1.50 km/s、迂回経路モデルで 1.64 km/s となった。また、迂回経路モデルにおける弾性波速度は 1.64 km/s であるが、AE センサ間の距離を見かけの最短経路 (210 mm) で弾性波速度を算出すると 0.47 km/s となり、空洞の影響が示された。

表-1 弾性波速度の計測結果

	AEセンサ間 距離 (m)	伝搬速度 (milli second)			弾性波 速度 (km/s)
		最小値	最大値	平均値	
最短経路モデル [*]	0.210	0.12	0.15	0.14	1.50
迂回経路モデル [*]	0.739	0.42	0.49	0.45	1.64
迂回経路モデル (弾性波速度を見かけの距離で算出)	0.210				0.47

*) AEセンサ間距離は、それぞれレンガ内部を通る最短距離として算出

3. 考察

本試験結果より、発信側及び受信側の AE センサ間に空洞が存在しても、迂回する経路があれば、弾性波が伝搬し、AE センサで検知できることが確認できた。

供試体内部を伝搬する弾性波は、供試体が均一な物性であれば、最短経路である直線間を使用した縦波が最短時間で到達する。しかしながら、実際の砂防堰堤には、材料性状が変化 (劣化等) した部位、亀裂や打継目等の物性境界面が内在しているため、弾性波の伝搬機構は単純ではない。このため、発信点からの衝撃で発生した弾性波は、堤体内の物性境界面で反射しながら複雑な経路で伝搬し受信点まで到達すると推定される。その結果、伝搬速度は最短経路を使用するものより時間を必要とし、弾性波速度の低下として表れていると推測される。

なお、物性が同じ材料であっても、最短経路モデルで 1.50 km/s、迂回経路モデルで 1.64 km/s という速度差が生じた理由については、レンガブロックの接合部の影響等が推定されるため、この点については、確認作業を実施する予定である。

おわりに

本報告では、入手が容易な素焼きレンガブロックを使用して試験を実施したが、コンクリート等他の材料を用いた類似試験を実施し、伝搬状況を精査するとともに空洞の有無や規模、空洞以外の亀裂や打継目の状況を評価する手法について追加検証・検討を行う予定である。

また、実際の砂防堰堤、特に維持・管理上の課題が多い石積砂防堰堤においては、外観から内部状況が判断できず、その内部構造も単純でないことが想定されるため、砂防堰堤の内部構造を簡易に模擬した室内試験を可能な限り実施し、弾性波探査 (透過法) を使用した客観的な健全性評価の精度向上を図る予定である。

参考文献

永井哲夫・小泉和広・永野賢司・亀澤奈央 (2015) 弾性波速度を用いた地盤構造物の健全性評価。第 59 回地盤工学シンポジウム平成 26 年度論文集, 85-90.